

⑩ 日本国特許庁 (JP)
⑫ 公開特許公報 (A)

⑪ 特許出願公開

昭57—190922

⑥ Int. Cl.³
G 02 B 27/28

識別記号

庁内整理番号
8106—2H

⑬ 公開 昭和57年(1982)11月24日

発明の数 4
審査請求 未請求

(全 8 頁)

⑭ 偏光解消回路

⑯ 特 願 昭56—74909

⑰ 出 願 昭56(1981)5月20日

⑱ 発 明 者 猿渡正俊
横須賀市武1丁目2356番地日本
電信電話公社横須賀電気通信研
究所内

⑲ 発 明 者 藤井洋二

横須賀市武1丁目2356番地日本
電信電話公社横須賀電気通信研
究所内

⑳ 発 明 者 箕輪純一郎

横須賀市武1丁目2356番地日本
電信電話公社横須賀電気通信研
究所内

㉑ 出 願 人 日本電信電話公社

㉒ 代 理 人 弁理士 山本恵一

明 細 書

1. 発明の名称

偏光解消回路

2. 特許請求の範囲

(1) 結晶の z 軸をふくむ1対の平行な第1平面および第2平面を有する単軸結晶ブロックと、前記第1平面に垂直に振動方向が z 軸に対しほぼ 45° 傾いた偏光を入射する手段と、前記第2平面から出射する出射光を受容する手段とを有し、前記第1平面と第2平面の間隔が可干渉長 $4L$ を結晶ブロックの常光線に対する屈折率 n_o と異常光線に対する屈折率 n_e との差 $(n_o - n_e)$ で除して得る商に等しいか、これより大であり、非干渉性の常光線と異常光線を出射することにより入射光の偏光を解消することを特徴とする偏光解消回路。

(2) 結晶の z 軸をふくむ1対の平行な第1平面および第2平面を有する単軸結晶ブロックと、前記第1平面に垂直に、速い軸及び遅い軸が単軸結晶ブロックの z 軸に対し 45° 傾けて設定される $\frac{1}{4}$ 波長板を介して直線偏光を入射する手段と、前記第

2平面から出射する出射光を受容する手段とを有し、前記第1平面と第2平面の間隔が可干渉長 $4L$ を結晶ブロックの常光線に対する屈折率 n_o と異常光線に対する屈折率 n_e との差 $(n_o - n_e)$ で除して得る商に等しいかこれより大であり、非干渉性の常光線と異常光線を出射することにより入射光の偏光を解消することを特徴とする偏光解消回路。

(3) 結晶の z 軸をふくむ1対の平行な第1平面および第2平面を有する単軸結晶ブロックと、第1平面に斜辺を接触させる直角プリズムと、第2平面に下底を接触させる台形プリズムと、前記第1面又は前記台形プリズムの上底に垂直に振動方向が z 軸に対しほぼ 45° 傾いた直線偏光を入射する手段と、台形プリズムの上底又は第1面から出射する出射光を受容する手段とを有し、上記直角プリズム及び台形プリズムにより光を反射させることにより入射光を複数回前記単軸結晶ブロックを通過させ、該単軸結晶ブロックにおける常光線と異常光線の光路長の差が可干渉長であり、非干渉

(1)

(2)

性の常光線と異常光線を出射することにより入射光の偏光を解消することを特徴とする偏光解消回路。

(4) 結晶の z 軸を面内に含む第1の面、第2の面、第3の面、第4の面を有する単軸結晶を有し、第1の面と第4の面とは互に平行であり、かつ、第2の面と第3の面も互に平行であり、さらに第1の面と第2の面は所定の角度で交わり、第3の面と第4の面も上記の第1の面と第2の面との交角と同じ角度で交わり、これらの面は 180° の回転により、第1の面と第4の面が、第2の面と第3の面の位置が互に交換されるような点対称の位置に配置され、第2の面および第3の面には反射膜が施され、直線偏光がその振動方向が上記単軸結晶の z 軸に対して 45° 傾いて第1の面に垂直に入射し、第2の面、第3の面で反射をくり返しながら上記単軸結晶中を伝わり、第4の面から光がとりだされ、上記第1の面から第4の面までの常光線と異常光線の光路長の差が可干渉長以上であることを特徴とする偏光解消回路。

(3)

しかし、従来の偏光解消回路においては、その動作が直線偏光を偏光面が互に直交する第1の直線偏光と第2の直線偏光に等しい光電力で分岐し、この第1の直線偏光と第2の直線偏光との光路長の差が可干渉長以上となった地点で合成するというものであるため構成が複雑であり、さらに異なる光路の光を合成するのが困難なため回路の製作性にも問題があった。

本発明はこれらの欠点を解決することを目的とし、ただ1個の単軸結晶を用いて、直線偏光を等価的な無偏光に変換するようにしたもので、そのひとつの特徴は、結晶の z 軸をふくむ1対の平行な第1平面および第2平面を有する単軸結晶ブロックと、前記第1平面に垂直に振動方向が z 軸に対しほぼ 45° 傾いた偏光を入射する手段と、前記第2平面から出射する出射光を受容する手段とを有し、前記第1平面と第2平面の間隔が可干渉長 $2L$ を結晶ブロックの常光線に対する屈折率 n_o と異常光線に対する屈折率 n_e との差 $(n_o - n_e)$ で除して得る値に等しいかこれより大であり、非干渉

(5)

3. 発明の詳細な説明

本発明は構成および製作の簡単な、直線偏光を等価的な無偏光に変換する光回路に関するものである。

近年の光ファイバ伝送技術の発展は目覚しく、光源に半導体レーザを用い、伝送路に単一モードファイバを用いた長距離、大容量の伝送方式の検討もすすめられている。ところで、光源である半導体レーザからの出射光はその接合方向に直線偏光しており、その直線偏光が単一モードファイバを伝搬する際、単一モードファイバの偏圧、ねじれ、環境温度などの影響で生じる複屈折性により偏光面の回転が生じる。このため、ファイバ出射光は偏光面が定まらず、直線偏光や楕円偏光となる。このため、ファイバ出射側に偏光依存性のある光学素子、例えば干渉膜フィルタ、回折格子、金属膜利用のミラーや減衰器など、を用いる場合には、ファイバ使用環境のわずかな変動で、それらの素子の特性が変化するという問題が生じてきた。この問題点を解決するため、直線偏光を等価的な無偏光に変換する偏光解消回路が提案された。

(4)

性の常光線と異常光線を出射することにより入射光の偏光を解消するとき偏光解消回路にある。

さらに、単軸結晶ブロックの入射側及び出射側にプリズム又は反射膜をもうけ、光線を単軸結晶ブロックの中を複数回往復させることにより、単軸結晶ブロックの厚さを減少させることができる。

さらに、 $\frac{1}{4}$ 波長板を介して入射波を単軸結晶ブロックに入射させ、その速い軸及び遅い軸を単軸結晶ブロックの z 軸に対し 45° 傾けて設定することにより、入射光線の振動方向にかかわらず装置を動作させることができる。

以下図面により詳説する。

第1図は本発明の一実施例であって、1は光源、2はレンズ、3は単軸結晶ブロック、4はレンズ、5は単一モードファイバである。第2図は単軸結晶の光線速度面を示す図、第3図は単軸結晶へ垂直入射する光の結晶中での振舞を示す図、第4図は単軸結晶への入射方法を示す図である。第2図、第3図、第4図を参照しながら、第1図の実施例の動作を説明する。単軸結晶の光線速度面は、例

(6)

えば、第2図のように示される。このような光線出度面を有する結晶中においては、その偏光面が z 軸に垂直な偏光は結晶があたかも等方性媒質であるかのように振舞い、屈折の場合にはスネルの法則に従う。この偏光を常光線と呼んでいる。一方、その偏光面が z 軸に平行な偏光は、結晶中をどの方向に進むかで光線速度が異なり、また屈折の場合にもスネルの法則に従わない。この偏光を異常光線と呼んでいる。いま、第3図に示すように z 軸が結晶表面に含まれるような単軸結晶に垂直に光が入射すると、結晶中において常光線の要素波は実線で、異常光線の要素波は破線で示されるように異なっており、その結果、常光線の波面は ϕ_0 で、異常光線の波面は ϕ_1 で示される。また、光線の方向は常光線、異常光線ともに $A-A'$ 、 $B-B'$ の方向になる。すなわち、このような結晶に光が垂直に入射した場合には、結晶中において常光線と異常光線の光線方向は一致し、結晶中を伝わる速度のみが異なる。

以上の予備知識のもとで第1図の動作を説明す
(7)

との位相差、すなわち光路長の差 ΔL が可干渉長 L_c 以上であれば、これら常光線と異常光線は単軸結晶ブロック3を通過後、それぞれ独立に振舞いお互に干渉しないようになる。すなわち、通常、波長板で考えるような両者の電界の合成とはならず、電力合成で考えることができる。従って、第5図に示すように、ファイバ入射点において互に直交する直線偏光である常光線および異常光線が、単一モードファイバ伝搬中に直交成分を生じ楕円偏光になったり偏光面の回転を生じたりしても、それぞれ独立にそれらの影響を受け、しかもその影響は常光線、異常光線ともに同じ量であるので、ファイバのどの距離においてもそれらの長軸(短軸)が互に直交する楕円偏光、あるいは互に直交する直線偏光になる。このことは、ファイバのどの距離においても、互に直交する任意の座標系を選んでも、それぞれの光電力成分が等しいことを意味し、等価的な無偏光が得られることになる。ここで重要なことは、常光線と異常光線が単軸結晶ブロック3を通過することにより生じる光路長

(8)

る。光源1から出た光は直線偏光であり、レンズ2により平行光に変換された単軸結晶ブロック3に入射する。ここで、第4図に示しているように、単軸結晶ブロック3の結晶表面が $y-z$ 平面であり、直線偏光の振動方向が $X-X'$ であるように、すなわち、 y 軸および z 軸に 45° 傾いた方向が振動方向であるように、結晶表面($y-z$ 平面)に垂直に入射したとすると、単軸結晶ブロック3の結晶中において常光線成分(実線で示される)と異常光線成分(破線で示される)の光電力は等しくなる。これらの常光線と異常光線は第3図において説明したように単軸結晶ブロック3の中を、同じ光線方向で、異なる速度で伝わる。すなわち、単軸結晶ブロック3に入射した光は単軸結晶ブロック3を通過することによって常光線と異常光線の光路の分離は行なわれず、位相のみが異なって出射する。単軸結晶ブロック3を通過した光はレンズ4により集束され、単一モードファイバ5に結合する。さて、ここで上述の単軸結晶ブロック3を通過することにより生じる常光線と異常光線

(8)

の差 ΔL を可干渉長 L_c 以上にして、電力合成できるようにする点にある。もし、 $\Delta L < L_c$ であれば、たとえ、ファイバ入射点で円偏光を入射したとしても、それらは位相が 90° ずれた直交する直線偏光の電界合成であり、互に干渉しあうので、ファイバ伝搬中にファイバの複屈折性により楕円偏光や直線偏光になってしまう。すなわち、等価的な無偏光状態は得られない。ここで可干渉長 L_c は、光源1のコヒーレンスの度合で決まり、波長 λ 、スペクトル広がり $\Delta\lambda$ の場合においては、

$$L_c \sim \lambda^2 / \Delta\lambda$$

で与えられる。例えば、 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 、 $\Delta\lambda = 1 \text{ \AA}$ (現在実現している半導体レーザーでは $\Delta\lambda = 10 \text{ \AA} \sim 20 \text{ \AA}$)とすると $L_c \sim 1.7 \text{ m}$ となり、 $\Delta L = 20 \text{ m} \sim 30 \text{ m}$ 程度にしておけば良い。一方、光路長差 ΔL は単軸結晶ブロック3の長さ L 、空気中における光速を c とすれば、

$$\Delta L = \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) cL = (n_o - n_e) L$$

で与えられる。従って結晶ブロックの長さ L は可
(10)

二倍長 $4d$ を常光線屈折率 n_o と異常光線屈折率 n_e の差 ($n_o - n_e$) で除した値 $\frac{4d}{n_o - n_e}$ に等しいかこれより大でなければならない。 n_o と n_e の差の大きい方解石を単軸結晶ブロック 3 として用いるとすれば $n_o - n_e = 0.172$ であるため、 $4d > 20 \text{ mm}$ とするためには、 $d > 1.17 \text{ mm}$ である必要がある。

以上の説明においては、単軸結晶ブロック 3 の結晶の表面 (光線の入射面、および出射面) は $y-z$ 平面であるとした。単軸結晶の場合、第 2 図に示したように x 軸、 y 軸は等価であり、このことから、結晶の表面は $y-z$ 平面に限らず、第 6 図の π 平面、すなわち任意の $x-y$ 平面に垂直な平面であれば良いことが示される。

第 7 図は本発明の実施例であって、6 は光源、7 はレンズ、8 は単軸結晶ブロック、9 は直角プリズム、10 は台形プリズム、11 はレンズ、12 は単一モードファイバである。光源 6 から出た直線偏光はレンズ 7 に入射し、平行光に変換される。この平行光は P_0 の点で単軸結晶ブロック 8 に

(11)

9 に入射する。直角プリズム 9 中で光線は点 P_1 、点 P_2 で反射して、単軸結晶ブロック 8 に再々入射する。以後、このように光線は単軸結晶ブロック 8 の通過と、台形プリズム 10、および直角プリズム 9 での反射を繰返しながら伝わり、最終的には台形プリズムの点 P_3 より出射する。この出射光はレンズ 11 により集束され、単一モードファイバ 12 に結合する。ここで、単軸結晶ブロック 8 を光線が通過するごとに常光線と異常光線との位相差が 40 だけ生じるわけであるから、第 7 図に示した例では光線が単軸結晶ブロック 8 を 5 回通過しているため、光線が点 P_3 から単軸結晶ブロック 8 に入射し、点 P_3 から台形プリズム 10 を出射するまでに、 5×40 だけ常光線と異常光線の位相差が生じていることになる。単軸結晶ブロック 8 を光線が通過する回数は直角プリズム 9 と台形プリズム 10 の相対的な位置関係で決まり、また、第 7 図の実施例は第 8 図のような配置にすることも可能であるため、結局、単軸結晶ブロック 8 を光線が通過する回数は 2 回以上の任意の回数

(13)

入射する。ここで、単軸結晶ブロック 8 への入射は第 1 図の実施例で説明した第 4 図のような単軸結晶ブロック 8 への入射がなされているものとする。また、直角プリズム 9、台形プリズム 10 の材質はガラスもしくは単軸結晶のどちらでも良いが、ここでは説明の都合上、その材質はガラスであるものとし、材質が単軸結晶の場合については後述する。さて、単軸結晶ブロック 8 へ入射した平行光は、第 1 図の実施例で説明したように、常光線と異常光線とに等しい光電力で分けられ、それぞれが単軸結晶ブロック 8 を通過中に光路の分離はなく、位相差が 40 だけ生じて台形プリズム 10 に入射する。台形プリズム 10 においては、光線は点 P_1 、点 P_2 において反射し、その光路が 180° 曲げられて単軸結晶ブロック 8 に再入射する。ここで台形プリズム 8 はガラスで形成されているため、ここにおける常光線、異常光線の位相差は生じない。単軸結晶ブロック 8 に再入射した光は点 P_3 で入射した場合と同様に常光線と異常光線の位相差をさらに 40 だけ生じて、直角プリズム

(12)

とすることができる。そこで、単軸結晶ブロック 8 を通過する回数を n 回とすると、単軸結晶ブロック 8 において生じる常光線と異常光線の位相差は $n \times 40$ となる。位相差は常光線と異常光線とが干渉しない大きさとする必要があり、第 1 図の実施例で述べたように単軸結晶ブロック 8 に方解石を用いると、 1.17 mm 以上、方解石を通過させることが条件である。従って、単軸結晶ブロック 8 を n 回通過する場合に、単軸結晶ブロック 8 の厚さ d は $1.17/n (\text{mm})$ 以上であれば良い。第 7 図で示したような $n = 5$ の場合には $d > 23.4 \text{ mm}$ となる。

次に、直角プリズム 9、台形プリズム 10 のいずれか、あるいはどちらでも単軸結晶である場合について述べる。これまで述べてきたように、常光線、異常光線の光路の分離は生じさせず、位相差のみを生じさせるためには、それぞれの光路 (光路の分離が生じないため、常光線と異常光線の光路は同一) に垂直な面内に π 軸を含むことが必要である。そこで、直角プリズム 9 および台形プリズム 10 の材質として単軸結晶を用いた場合

(14)

において、この条件を満たすためには、直角プリズム9および台形プリズム10を第9図に示すように、その厚み方向が ε 軸であるように製作すれば良い。第7図あるいは第8図の実施例において、直角プリズム9、および台形プリズム10の材質として単軸結晶を用いた場合には、これらのプリズム中においても常光線と異常光線との位相差が生じるわけであるので、単軸結晶ブロック8の厚さ d は、直角プリズム9、および台形プリズム10の材質がガラスの場合に比べて薄くて良いという利点が生ずる。

第10図は本発明のさらに別の実施例であって、13は光源、14はレンズ、15は単軸結晶平行四辺形プリズム、16は単軸結晶プリズム、17は単軸結晶プリズム、18はレンズ、19は単一モードファイバである。ここで、単軸結晶平行四辺形プリズム15、単軸結晶プリズム16、および単軸結晶プリズム17の材質は同じ単軸結晶であり、その ε 軸が第10図の紙面に垂直な方向であるよう製作されているものとする。プリズム

(15)

して、これら常光線と異常光線は単軸結晶平行四辺形プリズム15の中を同じ光路をとって、点 Q_1 、点 Q_2 、...、点 Q_7 、点 Q_8 で反射しながら伝わり、単軸結晶プリズム17の T_{18} 面から出射する。単軸結晶プリズム17を出射した光はレンズ18により集束され、単一モードファイバ19に結合する。ここで、単軸結晶平行四辺形プリズム15中を伝わる常光線と異常光線は、反射を繰り返しながら伝わり、第1図の実施例で説明したように位相差を有するようになる。常光線と異常光線が単軸結晶平行四辺形プリズム15を出射するとき、これらの位相差が十分に大きく、すなわち、常光線と異常光線の光路長の差が可干渉長以上であるとレンズ17への入射点において等価的な無偏光が得られることとなり、第1図の実施例と同様な効果が得られることになる。

以上の説明では、第1図の実施例、第7図および第8図の実施例、第10図の実施例において、入射直線偏光の振動方向はそれぞれの実施例の単軸結晶、すなわち、第1図の実施例の単軸結晶ブ

(17)

15、16、17が同じ材質で一体の場合には、第1面(T_{14})と第4面(T_{15})とは相互に平行であり、第2面(R_1)と第3面(R_2)も相互に平行であり、第1面(T_{14})と第2面(R_1)とは所定の角度で交わり、第3面(R_2)と第4面(T_{15})も同じ所定角度で交わり、これらの面は 180° の回転により第1面と第4面(T_{14} 、 T_{15})、及び第2面と第3面(R_1 、 R_2)の位置が相互に交換されるときと点対称の位置に配置される。また、単軸結晶平行四辺形プリズム15の R_1 面(第2面)および R_2 面(第3面)には反射膜(例えば、金属膜あるいは誘電体多層膜など)がつけられているものとする。光源13から出た直線偏光はレンズ14により平行光に変換され、単軸結晶プリズム16に T_{16} 面から入射する。このとき、第1図の実施例において示したように、この直線偏光の振動方向が ε 軸に対して 45° 傾いているとすると、単軸結晶プリズム16の中で直線偏光は常光線と異常光線とに等しい光電力で分離し(但し、光路の分離はない)、単軸結晶平行四辺形プリズム15に入射する。そ

(16)

ブロック8、第7図および第8図の実施例の単軸結晶ブロック8、第10図の実施例の単軸結晶平行四辺形プリズム15および単軸結晶プリズム16、単軸結晶プリズム17、の ε 軸に 45° 傾いているものとした。ここで、入射直線偏光の振動方向が ε 軸に対して任意の傾き角度でも良いという構成の一例として、第1図の実施例をもとにして構成した例を第11図に示す。20は光源、21はレンズ、22は $\frac{1}{4}$ 波長板、23は単軸結晶ブロック、24はレンズ、25は単一モードファイバである。第1図と第11図の相異点は、 $\frac{1}{4}$ 波長板22が偏えられている点にある。光源20から出射した直線偏光はレンズ21により平行光に変換され、 $\frac{1}{4}$ 波長板22に入射する。ここで、第12図に示すように $\frac{1}{4}$ 波長板22の遅い軸(遅い軸)は単軸結晶ブロック23の ε 軸に対して 45° 傾けて設定してあるものとする。このとき、 $\frac{1}{4}$ 波長板22により入射直線偏光は、その振動方向が $\frac{1}{4}$ 波長板22の遅い軸(遅い軸)に対してどの位、傾いているかに応じて、第13図に示すように単軸結晶ブ

(18)

ブロック23のx軸に対して45°傾いた直線偏光、あるいは、その主軸が単軸結晶ブロック23のx軸に対して45°傾いている円偏光、あるいは円偏光に変換される。このことは、この偏光が単軸結晶ブロック23の中において常光線と異常光線とに等しい光電力で分離されることを意味する。この後の動作は第1図の実施例において説明したのと同様であり、単軸結晶ブロック23中で常光線と異常光線との光路の分離はなく、光路長の差のみが可干渉長以上について常光線と異常光線とが単軸結晶ブロック23を出射するため、等価的な無偏光が得られる。この等価的な無偏光はレンズ24により集束され、単一モードファイバ25に結合する。この手法は第7図の実施例および第8図の実施例では単軸結晶ブロック8とレンズ7の間に $\frac{1}{4}$ 波長板を、あるいは第10図の実施例では単軸結晶プリズム16とレンズ14の間に $\frac{1}{4}$ 波長板を挿入することにより適用することができる。

以上説明したように、本発明では直線偏光を、その光軸に垂直な面にx軸が含まれるように設定

(19)

図は直線偏光が $\frac{1}{4}$ 波長板により変換される偏光状態を示す図である。

1…光源、2…レンズ、3…単軸結晶ブロック、4…レンズ、5…単一モードファイバ、6…光源、7…レンズ、8…単軸結晶ブロック、9…直角プリズム、10…台形プリズム、11…レンズ、12…単一モードファイバ、13…光源、14…レンズ、15…単軸結晶平行四辺形プリズム、16…単軸結晶プリズム、17…単軸結晶プリズム、18…レンズ、19…単一モードファイバ、20…光源、21…レンズ、22… $\frac{1}{4}$ 波長板、23…単軸結晶ブロック、24…レンズ、25…単一モードファイバ。

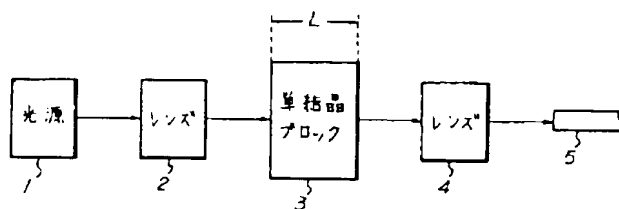
された単軸結晶に垂直に入射し、単軸結晶中で常光線と異常光線とに等しい光電力で分離する。このとき、このような入射の方法においては、単軸結晶を通過することによって常光線と異常光線の光路の分離は生じず、光路長のみが異なるため、この光路長の差を可干渉長以上とすることで容易に等価的な無偏光が得られるという利点がある。

4. 図面の簡単な説明

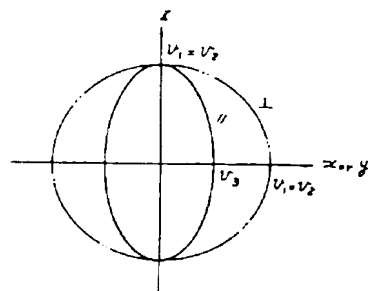
第1図は本発明の一実施例の構成例、第2図は単軸結晶の光解速度面を示す図、第3図は単軸結晶へ垂直入射する光の結晶中での振舞を示す図、第4図は単軸結晶への入射方法を示す図、第5図ファイバ各点における偏光状態を示す図、第6図は単軸結晶へ入射する方法を示す図、第7図は本発明の実施例の構成例、第8図は本発明の別の実施例の構成例、第9図は第7図および第8図の実施例に用いられる直角プリズムの材質に単軸結晶を用いた図、第10図は本発明の別の実施例の構成例、第11図は本発明の別の実施例の構成例、第12図は $\frac{1}{4}$ 波長板の設定方法を示す図、第13

(20)

第1図



第2図



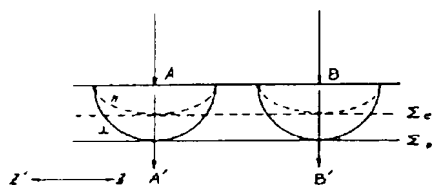
特許出願人

日本電信電話公社

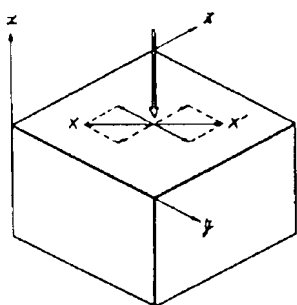
特許出願代理人

弁理士 山本 恵一

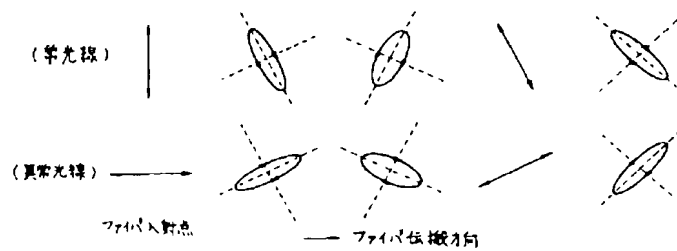
第3図



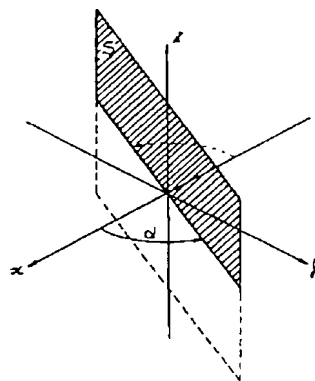
第4図



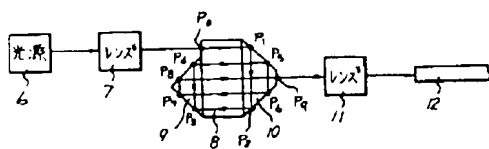
第5図



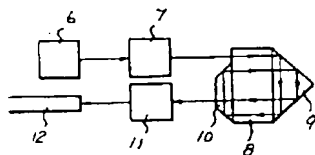
第6図



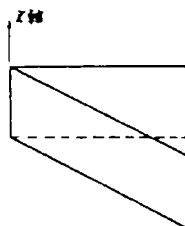
第7図



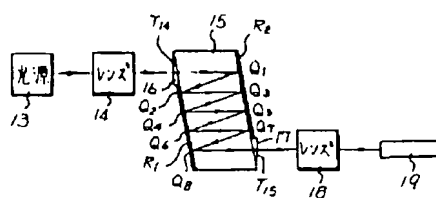
第8図



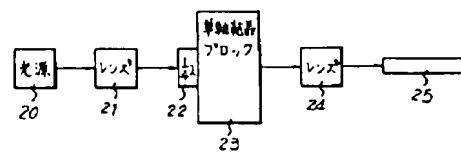
第9図



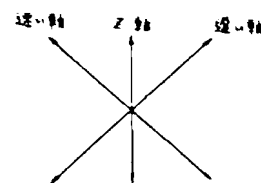
第10図



第11図



第12図



第13圖

